

陈丽晖, 黄雪梅, 张昭其, 等. 1-甲基环丙烯对无核黄皮贮藏品质和生理的影响[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(4): 117-122.

1-甲基环丙烯对无核黄皮贮藏品质和生理的影响

陈丽晖¹, 黄雪梅², 张昭其², 黄水生²

(1 肇庆学院 生命科学学院, 广东 肇庆 526063; 2 华南农业大学 园艺学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】研究 1-甲基环丙烯(1-MCP)对无核黄皮 *Clausena lansium* 果实常温贮藏效果和采后生理的影响。【方法】广东郁南无核黄皮分别经 0.1 和 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 熏蒸处理 24 h 后, 置 25 $^{\circ}\text{C}$ 条件下贮藏 10 d, 测定贮藏过程中果实的营养品质和生理变化。【结果和结论】无核黄皮的呼吸速率在贮藏期间持续增加, 但无呼吸峰出现, 其呼吸类型属于后期上升型。2 个 1-MCP 处理不同程度地提高了黄皮的好果率和可食率, 有利于保持果实硬度, 降低了可滴定酸和维生素 C 含量; 同时, 抑制了果实乙烯的产生和减缓了呼吸速率的上升, 延缓了果皮抗氧化酶 SOD 和 POD 活性的下降, 以及细胞膜透性和丙二醛含量的增加。1 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理的效果较显著。

关键词:无核黄皮; 呼吸类型; 1-甲基环丙烯; 保鲜效果
中图分类号:S667.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2015)04-0117-06

Effects of 1-methylcyclopropene on the storage quality and the postharvest physiology of seedless wampee fruit

CHEN Lihui¹, HUANG Xuemei², ZHANG Zhaoqi², HUANG Shuisheng²

(1 Life Sciences College of Zhaoqing University, Zhaoqing 526063, China;
2 College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract:【Objective】The effects of 1-methylcyclopropene(1-MCP) treatments on storage quality and the postharvest physiology of seedless wampee, *Clausena lansium*, fruits were studied. 【Method】The seedless wampee fruits grown in Guangdong Province were treated with 1-MCP (0.1 and 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$) and stored at 25 $^{\circ}\text{C}$ for 10 days. The quality and physiology of fruits were investigated during the storage. 【Result and conclusion】The respiration rate of fruit rose remarkably during storage, but no respiration climax was observed, which suggested that wampee fruit belonged to the later respiratory rising fruit. 1-MCP treatments at two levels of concentrations increased the good fruit rate and the edible rate of wampee fruits, maintained the fruit firmness, and decreased titratable acid and vitamin C contents. 1-MCP treatments also inhibited ethylene production and delayed the rise of respiration rate, delaying the decrease of SOD and POD activities and the increase of both cell membrane permeability and malondialdehyde content in fruit peel during the storage. 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP is a more effective treatment.

Key words:seedless wampee fruit; respiration type; 1-methylcyclopropene; storage quality

黄皮 *Clausena lansium* 是广东省著名的优质特产水果之一, 果实营养价值高, 甜中带酸, 风味独特, 具有特殊香气, 并具有健脾开胃、生津解渴、化痰行气等保健及药用功效, 是深受人们喜爱的夏令鲜食果品。但黄皮果实成熟期正值高温潮湿季节, 虽为非呼吸跃变型果实, 但果皮薄而结构疏松, 易受机械损伤和病菌侵害, 采后鲜果在自然条件下 2~3 d 即变软腐烂^[1-2]。黄皮难以贮运保鲜的生理特性严重制约

收稿日期:2014-05-14 优先出版时间:2015-06-10
优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20150610.1633.020.html>
作者简介:陈丽晖(1971—), 女, 讲师, 硕士, E-mail: 541248083@qq.com; 通信作者:黄雪梅(1969—), 女, 副研究员, 博士, E-mail: xmh Huang@scau.edu.cn
基金项目:广东省联合基金重点项目(U0631004); 广东省自然科学基金团队项目(06200670)

了我国黄皮产业的发展. 目前, 有关采后黄皮果实贮藏保鲜方面的研究已有一定报道, 如采收成熟度、杀菌剂和贮藏温度^[3-5]、热处理^[6-7]、MAP 包装^[8]、涂膜处理^[9] 等. 1-甲基环丙烯 (1-Methylcyclopropene, 1-MCP) 是近年来发现的一种新型乙烯受体抑制剂, 通过阻断乙烯与受体结合, 抑制乙烯的产生和乙烯诱导的成熟与衰老进程, 从而达到延缓果蔬贮藏寿命的效果. 1-MCP 性质稳定、使用剂量小, 效果显著, 且安全无毒. 近年来, 1-MCP 在国内外已被广泛应用于苹果、梨、番荔枝、猕猴桃、番木瓜、芒果、菠萝、枇杷、荔枝、番茄、辣椒、黄秋葵、西兰花、绿芦笋、卷心生菜等果蔬^[10-26] 采后保鲜技术的研究上. 郁南无核黄皮是广东省著名的特色水果, 本试验以郁南无核黄皮果实为材料, 研究了 1-MCP 对无核黄皮采后保鲜品质和生理变化的影响, 为我国南方特产水果保鲜技术提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 材料与试验设计

供试材料为大小一致、无病虫害和机械损伤、成熟度为八成熟的郁南无核黄皮果实. 采收当天运抵实验室, 果柄保留 1~2 cm, 以 400 mg · L⁻¹ 施保功杀菌剂溶液浸泡 1 min 自然晾干. 再分别经 0.1 和 1.0 μL · L⁻¹ 的 1-MCP 熏蒸处理 24 h, 以未经 1-MCP 处理的无核黄皮为对照 (CK), 以 0.03 mm PE 袋包装, 置常温 (25 °C) 条件下贮藏. 每袋 500 g, 每处理 6 袋, 袋口以橡皮筋盘扎 2 圈, 每 2 天取样 1 次测定各生理数据.

1.2 果实呼吸速率和乙烯释放速率的测定

参照季作梁等^[27] 的方法, 每个重复随机取黄皮果实 100 g (约 12 个果), 置于 650 mL 密封罐中, 室温下密封 3 h 后, 用 1 mL 小针筒取气, 日本岛津 GC-17A 型气相色谱仪同时测定果实呼吸速率和乙烯释放速率. 其中, 测定呼吸速率的气相色谱工作条件: 色谱柱为 Molecular sieve 5A 和 Porapak Q 并列柱, 载气为氦气, 柱温 60 °C, 热导池检测器温度 120 °C, 进样口温度 100 °C, 载气流速 30 mL · min⁻¹, 电流 40 A. 以每千克鲜果每小时的 CO₂ 释放量表示呼吸速率, 单位为 mg · kg⁻¹ · h⁻¹. 测定乙烯释放速率的气相色谱工作条件: 火焰离子检测器 (FID), 色谱柱为 Al₂O₃ (60~80 目) 填充柱, 柱温 90 °C, 进样器温度 100 °C, 载气为 N₂, 流速 25 mL · min⁻¹. 以每千克鲜果每小时的乙烯释放量表示乙烯释放速率, 单位为 μL · kg⁻¹ · h⁻¹. 每处理设 3 个重复.

1.3 好果率和可食率的评定

随机抽取无核黄皮果实进行测定. 以病斑小于果面积 10%、无软腐现象的果实作为好果的标准. 好

果率 = 好果数/总调查果数 × 100%. 重复 3 次. 以外表完好、无病害, 保持一定的酸度和甜度, 无乙醇发酵味、苦味及其他异味作为可食果的标准. 可食果率 = 可食果数/总调查果数 × 100%. 重复 3 次.

1.4 果实硬度的测定

每个重复随机抽取 10 个果实, 用日产 KM 型果实硬度计在果实赤道线附近测定. 硬度计的针头圆筒形, 直径 5 mm, 长度 10 mm. 重复 3 次.

1.5 可滴定酸含量的测定

每个重复随机抽取 10 个果实, 取果肉 5 g 榨汁, 采用酸碱中和滴定法测定可滴定酸含量, 以柠檬酸的量换算百分含量^[28].

1.6 维生素 C (V_C) 含量的测定

采用 2,6-二氯酚钠滴定法测定 V_C 含量, 每个重复随机抽取 10 个果实, 取果肉 5 g 榨汁, 滤液以 2 g · L⁻¹ 草酸定容至 50 mL, 吸取 10 mL 稀释液用标定的 2,6-二氯酚钠滴定, 以现微红色且 15 s 不褪色为滴定终点. 以 2 g · L⁻¹ 的草酸溶液 10 mL 作为空白进行滴定. 以上测定均重复 3 次.

1.7 果皮抗氧化酶 SOD 和 POD 活性的测定

参照黄雪梅等^[29] 的方法. 每个重复随机抽取 10 个果实, 取果皮 1.00 g, 液氮磨碎, 加入预冷的 0.05 mol · L⁻¹、pH7.8 的磷酸缓冲液 (PBS) 5.0 mL 和 2 g · L⁻¹ 的聚乙烯吡咯烷酮 (PVP) 匀浆. 4 °C 条件下 16 000 r · min⁻¹ 离心 15 min, 上清液为粗酶提取液. 测定 SOD 活性的 3 mL 反应液包括: 130 mmol · L⁻¹ 的甲硫氨酸 0.3 mL, 750 μmol · L⁻¹ 的硝基四氮唑蓝 (NBT) 0.3 mL, 100 μmol · L⁻¹ 的 EDTA-Na₂ 0.3 mL, 20 μmol · L⁻¹ 的核黄素 0.3 mL, pH7.8 的 PBS 1.75 mL 和粗酶提取液 50 μL. 以缓冲液代替酶液照光为最大值, 不照光为空白, 各管置于 4 000 lx 下照光 20 min, 测定 D_{560 nm}, 以抑制光氧化还原 50% 为 1 个酶活力单位 (U), 酶的活性以 U · g⁻¹ 表示, 重复 3 次. 测定 POD 活性的 3 mL 反应液包括愈创木酚 (体积分数为 4.0% 过饱和) 0.1 mL、H₂O₂ (体积分数 0.46%) 0.1 mL, PBS 2.75 mL 和酶粗提取液 50 μL, 测定 D_{470 nm}, 以 D_{470 nm} 每分钟增加 0.01 为 1 个酶活性单位 (U), 重复 3 次.

1.8 果皮丙二醛含量和膜透性的测定

取上述提取的上清液 1 mL 于刻度试管中, 加入 3 mL 硫代巴比妥酸, 记下刻度, 置沸水浴中反应 30 min, 取出冰水冷却, 用双蒸水补足至 4 mL, 4 000 r · min⁻¹ 离心 20 min, 以 5 g · L⁻¹ 的硫代巴比妥酸溶液为空白, 分别测定 D_{532 nm} 和 D_{600 nm}. 用 ΔD = (D_{532 nm} - D_{600 nm})/155 计算丙二醛含量. 重复 3 次.

每个重复随机抽取 10 个果实, 用直径 10 mm 的

打孔器打取果皮圆片 20 个,蒸馏水清洗 3 次后用滤纸吸干,放入 50 mL 具塞试管,加入蒸馏水 25 mL,室温(25 ~ 30 ℃)静置 30 min,以 DDS-11A 型电导率仪测定浸出液的电导率. 随后再将果皮及浸出液回流煮沸 30 min,测定果皮全渗电导率. 以浸出液电导率占全渗电导率的百分率表示膜透性大小,重复 3 次.

2 结果与分析

2.1 1-MCP 对无核黄皮呼吸速率和乙烯释放速率的影响

对照黄皮果实在常温贮藏过程中呼吸速率缓慢直线上升,贮藏 10 d 时增加了 1.2 倍. 乙烯释放速率 4 d 后开始明显上升,第 8 天出现乙烯峰,约增加 1.6 倍,第 10 天回落到初始水平. 0.1 和 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理与对照相比,在贮藏 4 ~ 8 d 时均减缓了呼吸速率的上升,并有效地控制了乙烯释放速率,使常温贮藏过程中不出现乙烯峰,乙烯释放速率保持低水平,2 个体积分数的 1-MCP 处理效果相近(图 1).

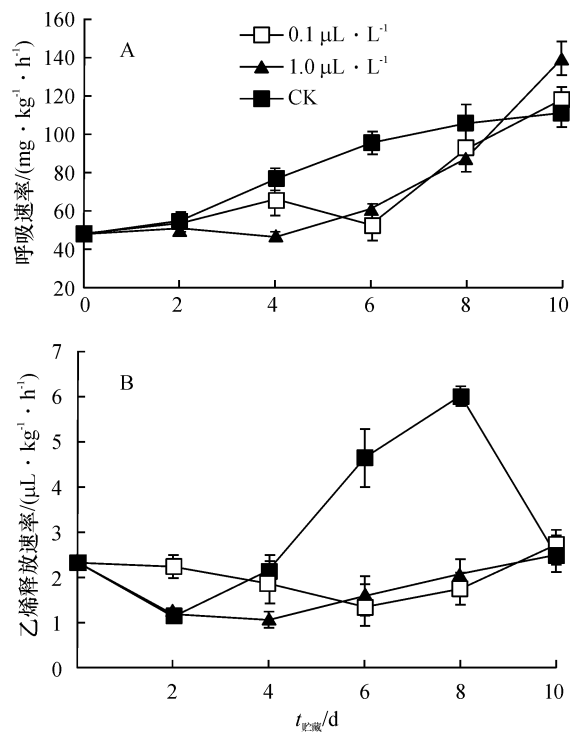


图1 1-MCP 处理对无核黄皮常温贮藏下呼吸速率和乙烯释放速率的影响

Fig. 1 Effects of 1-MCP on respiration rate and ethylene production of seedless wampee fruits during the storage at 25 °C

2.2 1-MCP 对无核黄皮好果率和可食率的影响

无核黄皮果实用 PE 袋包装,在常温贮藏过程中逐步自然成熟和腐烂,第 10 天时好果率为 62.7%,可食率仅为 20.5%,且风味差或有异味. 2 种体积分数的 1-MCP 不同程度地提高好果率和可食率,但仅

1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理的效果较好,与对照差异显著(表 1).

表 1 1-MCP 处理对无核黄皮常温贮藏 10 d 的好果率和可食率的影响¹⁾

Tab. 1 Effects of 1-MCP on the good fruit rate and the edible rate of seedless wampee fruits after 10 days of storage at 25 °C

$\varphi(1\text{-MCP})/(\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1})$	好果率/%	可食率/%
0(对照)	62.7 ± 0.6BCbc	20.5 ± 0.3BCbc
0.1	65.5 ± 3.6ABb	21.1 ± 0.5ABb
1.0	77.6 ± 5.1Aa	31.4 ± 0.4Aa

1)表中数据为 $\bar{x} \pm \text{SE}$, $n = 3$; 同列数据后凡是有一个相同大写字母或小写字母者,分别表示在 0.01 或 0.05 水平差异不显著(LSD 检验).

2.3 1-MCP 对无核黄皮硬度的影响

对照黄皮果实常温贮藏 10 d 后果实硬度明显下降,果实明显软化. 0.1 和 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理均延缓了硬度下降,1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理的效果略好于 0.1 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理(图 2).

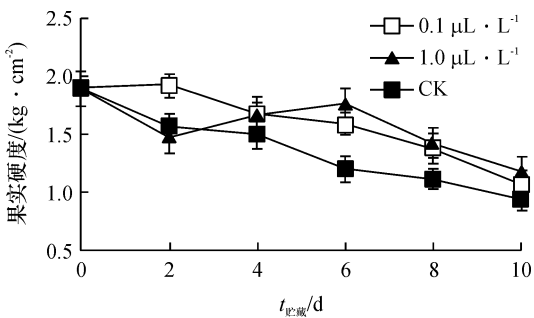


图2 1-MCP 处理对无核黄皮常温贮藏下果实硬度的影响
Fig. 2 Effects of 1-MCP on fruit firmness of seedless wampee fruits during the storage at 25 °C

2.4 1-MCP 对无核黄皮果肉可滴定酸和 V_c 的影响

黄皮果实在常温贮藏过程中果肉的可滴定酸大幅度下降. 0.1 和 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理均延缓了果肉可滴定酸的下降,以 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理较明显(图 3A). 在常温放置过程中,对照黄皮果实随着成熟衰老果肉 V_c 含量缓慢升高,6 d 后下降,8 ~ 10 d 处于低水平. 1-MCP 推迟了果肉 V_c 含量的上升和下降,到 8 d 后,1-MCP 处理果实的 V_c 含量均高于对照果实,其中第 8 天 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 处理的 V_c 含量明显高于 0.1 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理,但到了第 10 天,所有果实的 V_c 水平比较接近(图 3B). 结果表明 1-MCP 处理在一定程度上延缓了可滴定酸和 V_c 含量的下降,1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 1-MCP 的处理效果较明显.

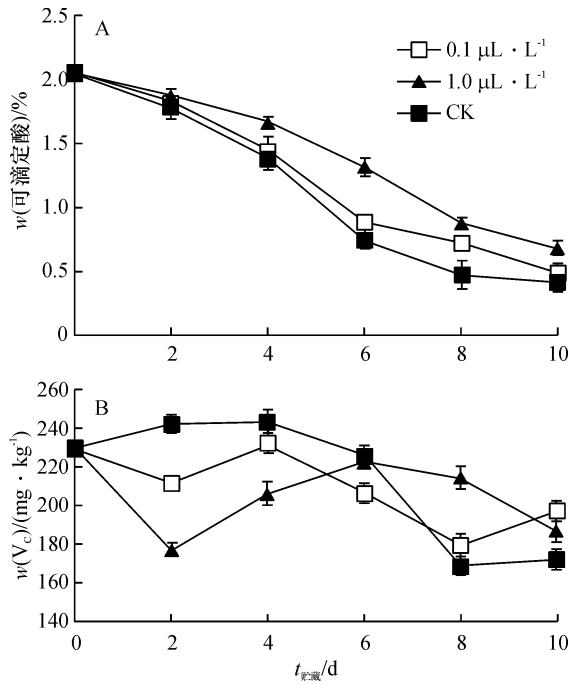


图3 1-MCP 处理对无核黄皮常温贮藏过程中可滴定酸和 V_c 含量的影响

Fig.3 Effects of 1-MCP on titratable acidity and vitamin C contents of seedless wampee fruits during the storage at 25 °C

2.5 1-MCP 对无核黄皮 SOD 和 POD 活性的影响

对照黄皮果实在常温贮藏过程中果皮 SOD 活性在第 2 天先上升然后逐步下降,第 8 天后低于试验开始时(第 0 天)的水平. 1-MCP 处理延缓了 SOD 活性的上升和下降幅度,从第 4 天开始活性明显高于对照,其中,1.0 $\mu L \cdot L^{-1}$ 1-MCP 处理的 SOD 活性略高于 0.1 $\mu L \cdot L^{-1}$ 1-MCP 处理(图 4A). 对照黄皮果实在常温放置过程中果皮 POD 活性在第 2 天先略上升,然后急剧下降,第 10 天活性接近 0. 而 1-MCP 处理均导致 POD 活性在第 2 天明显下降,然后明显回升,虽然之后又下降但明显高于对照的活性(图 4B). 且 1.0 $\mu L \cdot L^{-1}$ 处理的 POD 活性明显高于 0.1 $\mu L \cdot L^{-1}$ 处理. 结果表明 1-MCP 处理在一定程度上提高了 SOD 和 POD 活性,1.0 $\mu L \cdot L^{-1}$ 的 1-MCP 处理效果较明显.

2.6 1-MCP 对无核黄皮丙二醛和相对电导率的影响

对照黄皮果实在常温贮藏过程中果皮丙二醛和相对电导率基本都不断上升,直到第 6 或 8 天达最高值,之后维持在高水平上(图 5). 0.1 和 1.0 $\mu L \cdot L^{-1}$ 的 1-MCP 处理均有效地延缓了丙二醛和相对电导率的增加,2 个体积分数处理的效果较接近(图 5).

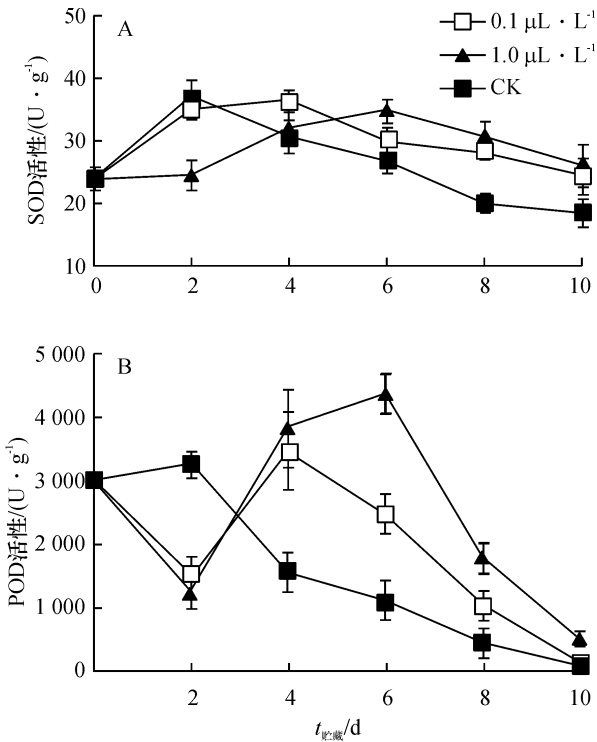


图4 1-MCP 处理对无核黄皮常温贮藏过程中 SOD 和 POD 活性的影响

Fig.4 Effects of 1-MCP on SOD and POD activities in seedless wampee fruits during the storage at 25 °C

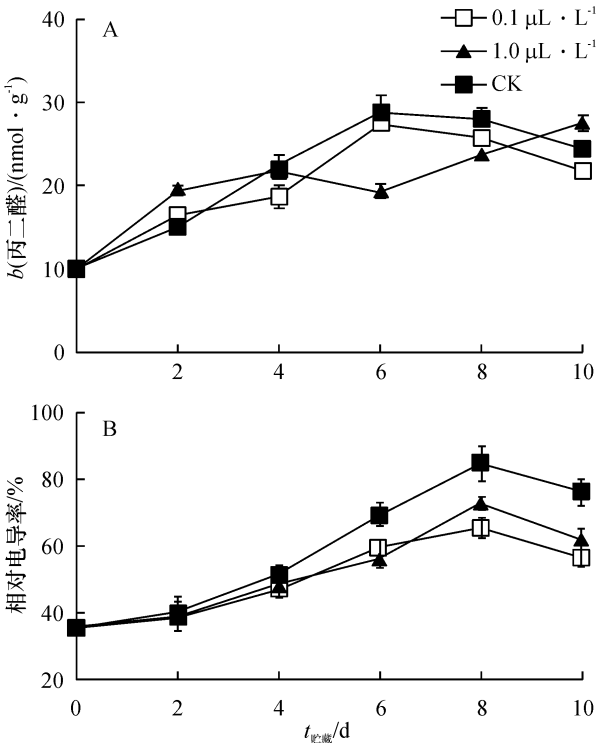


图5 1-MCP 处理对无核黄皮常温贮藏过程中果皮丙二醛和相对电导率的影响

Fig.5 Effects of 1-MCP on malondialdehyde and relative electrical conductivity of seedless wampee fruits during the storage at 25 °C

3 讨论

1-MCP 作为 1 种高效果蔬保鲜剂,近十年来在果蔬的贮藏保鲜中得到了广泛应用.研究表明,1-MCP 不但对呼吸跃变型果实如苹果^[10]、番荔枝^[12]、番木瓜^[15]、芒果^[16]、番茄^[20]等的保鲜效果显著,对非呼吸跃变型果实如菠萝^[17]、枇杷^[18]、荔枝^[19]、黄秋葵^[23]等的保鲜也取得显著效果.

果实的呼吸类型通常被划分为跃变型和非跃变型 2 种,无核黄皮果实曾经被认为是非跃变型果实^[1].而按照日本学者田岩的分类,果实的呼吸作用分为 3 种类型,跃变现象显著的称作跃变型(又称为一时上升型),如香蕉、芒果、鳄梨、西洋梨、番茄、苹果等;没有跃变现象的称作非跃变型(又称为渐减型),如柑橘类等;随着果实成熟,呼吸量继续增加的称作后期上升型,如柿子、草莓、桃等^[30-31].即通常被称作非跃变型的果实又可分为呼吸渐减型和呼吸后期上升型.研究表明,大久保桃在常温贮藏 8 d 中出现乙烯峰,呼吸速率持续增加,其呼吸类型不属于跃变型果实,应属于呼吸后期上升型果实^[32].枣的呼吸类型甚至有 3 种类型:冬枣和脆枣有明显的呼吸峰出现,属呼吸跃变型;帅枣、木枣和金丝枣的呼吸逐渐减少,与呼吸渐减型相似;而梨枣的呼吸缓慢升高,与呼吸后期上升型相似^[33].本研究测定了八成熟无核黄皮果实采后常温贮藏 10 d 过程中的呼吸速率和乙烯释放速率,结果发现,虽然在第 8 天出现乙烯高峰,但呼吸速率从贮藏开始持续增加直到第 10 天成熟腐烂,期间并未出现明显的呼吸高峰.曲红霞等^[1]也检测到,九成熟的大鸡心、小鸡心和圆黄皮 3 个品种在常温贮藏第 4 或 6 天出现乙烯高峰,但呼吸速率在第 4 天后增加直到第 6 天成熟腐烂.因此,黄皮果实的呼吸类型具有典型的呼吸后期上升型果实的特征.

本研究结果表明,1-MCP 处理对无核黄皮常温贮藏保鲜有一定的效果.0.1 和 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理均可有效抑制无核黄皮乙烯的产生,果实不出现乙烯峰;1-MCP 处理与对照相比也能降低贮藏中期至后期的呼吸速率,但不能阻止无核黄皮在贮藏过程中呼吸速率持续上升的趋势,只是减缓了贮藏中、后期呼吸速率的上升,在贮藏末期仍检测到很高的呼吸速率.1-MCP 处理还可有效地延缓抗氧化系统 SOD 和 POD 酶活性的下降或提高酶活性,减缓细胞膜透性的增加和膜脂过氧化产物丙二醛的增

加,从而延缓了果实的成熟衰老,延缓了果实的硬度以及可滴定酸和 V_c 含量等品质指标的下降,保持了较高的好果率和可食率.其中,以 1.0 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 1-MCP 处理效果较好.1-MCP 处理可推迟西洋梨乙烯峰和呼吸峰的出现时间,峰值也有所降低,同时延缓果肉 POD、SOD 和 CAT 活性变化,使其显著高于对照,有效地延缓了西洋梨的后熟衰老^[34].1-MCP 处理可明显推迟苹果梨硬度的下降,减缓可溶性固形物下降,维持较高的可滴定酸含量,提高保鲜效果^[35].因此,1-MCP 对具有呼吸后期上升型特征的黄皮果实的生理效应与呼吸跃变型的西洋梨、苹果梨的明显不同之处是,1-MCP 处理可完全抑制无核黄皮的乙烯峰产生,其他生理反应与呼吸跃变型果实比较相似.

参考文献:

- [1] 屈红霞,蒋跃明,李月标,等.黄皮果实采后呼吸特性及品质变化[J].亚热带植物科学,2003,32(3):16-20.
- [2] 屈红霞,蒋跃明,李月标,等.黄皮耐贮性与果皮超微结构的研究[J].果树学报,2004,21(2):153-157.
- [3] 陈丽晖,李军,陈杰忠,等.施保功浓度和贮藏温度对黄皮保鲜效果的影响[J].广东农业科学,2007,34(2):66-67.
- [4] 陈丽晖,陈杰忠,李军,等.不同成熟度黄皮果实品质及贮藏特性的差异[J].中国南方果树,2006,35(3):93-95.
- [5] 王海波,陈丽晖,张昭其.黄皮采后处理与保鲜技术[J].广东农业科学,2011,38(19):49-50.
- [6] 黄剑波,董华强,林丽超,等.采后黄皮果实热处理保鲜[J].食品科技,2008(3):234-236.
- [7] 周开兵,罗铁旗,黄燕,等.热处理对黄皮果实贮藏效果和活性氧代谢的影响[J].山地农业生物学报,2010,29(1):28-34.
- [8] 张泽煌,许家辉,李维,等.黄皮的适宜贮藏温度及 MAP 保鲜[J].福建农林大学学报:自然科学版,2006,35(6):593-597.
- [9] 邱松山,姜翠翠.三种可食性涂膜对黄皮货架期品质和生理的影响[J].食品工业科技,2010,31(12):313-315.
- [10] FANTE C A, BOAS A C V, COSTA A C, et al. 1-MCP on physiological and postharvest quality of apples Eva during refrigerated stored [J]. Cienc Rural, 2013, 43(12): 2142-2147.
- [11] RIZZOLO A, GRASSI M, VANOLI M. 1-Methylcyclopropane application, storage temperature and atmosphere modulate sensory quality changes in shelf-life of 'Abbe

- Fetel' pears [J]. Postharvest Biol Tec, 2014, 92: 87-97.
- [12] ESPINOSA I, ORTIZ R I, TOVAR B, et al. Physiological and physicochemical behavior of soursop fruits refrigerated with 1-methylcyclopropene [J]. J Food Quality, 2013, 36(1): 10-20.
- [13] SHARMA R R, JHALEGAR M J, PAL R K. Response of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Allison) to post-harvest treatment with 1-methylcyclopropene[J]. J Hort Sci Biotech, 2012, 87(3): 278-284.
- [14] TERRA F D M, EDAGI F K, SASAKI F F C, et al. Application of 1-methylcyclopropene and its influence in the process of astringency removal of 'Gimbo' persimmon by using ethanol [J]. Cienc Rural, 2014, 44(2): 210-216.
- [15] AHMAD A, ALI Z M, ZAINAL Z. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on firmness and softening related enzymes of 'Sekaki' papaya fruit during ripening at ambient[J]. Sains Malays, 2013, 42(7): 903-909.
- [16] NGAMCHUACHIT P, BARRETT D M, MITCHAM E J. Effects of 1-methylcyclopropene and hot water quarantine treatment on quality of "Keitt" mangos[J]. J Food Sci, 2014, 79(4): 505-509.
- [17] MACHADO F L D, LIMA R M T, ALVES R E, et al. Influence of waxing coupled to 1-methylcyclopropene on compositional changes in early harvested 'Gold' pineapple for export[J]. Acta Scientiarum: Agronomy, 2014, 36(2): 219-225.
- [18] EDAGI F K, SASAKI F F, SESTARI I, et al. 1-Methylcyclopropene and methyl salicylate reduce chilling injury of 'Fukuhara' loquat under cold storage[J]. Cienc Rural, 2011, 41(5): 910-916.
- [19] DE LIMA F V, DEL AGUILA J S, ORTEGA E M M, et al. Postharvest of lychee 'Bengal' treated with ethylene and 1-methylcyclopropene [J]. Cienc Rural, 2011, 41(7): 1143-1149.
- [20] SU H, GUBLER W D. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on reducing postharvest decay in tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) [J]. Postharvest Biol Tec, 2012, 64(1): 133-137.
- [21] 郑铁松,李雪枝. 不同浓度 1-MCP 对番茄保鲜效果的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 552-555.
- [22] 黄雪梅,张昭其,段学武. 1-MCP 处理对辣椒常温贮藏效果的影响[J]. 中国蔬菜, 2003(1): 9-11.
- [23] HUANG S L, LI T T, JIANG G X, et al. 1-Methylcyclopropene reduces chilling injury of harvested okra (*Hibiscus esculentus* L.) pods[J]. Sci Hortic, 2012, 141: 42-46.
- [24] XU F, CHEN X H, YANG Z F, et al. Maintaining quality and bioactive compounds of broccoli by combined treatment with 1-methylcyclopropene and 6-benzylaminopurine [J]. J Sci Food Agric, 2013, 93(5): 1156-1161.
- [25] ZHANG P, ZHANG M, WANG S J, et al. Effect of 1-methylcyclopropene treatment on green asparagus quality during cold storage [J]. Int Agrophys, 2012, 26(4): 407-411.
- [26] TIAN W N, LV Y C, CAO J K, et al. Retention of iceberg lettuce quality by low temperature storage and post-harvest application of 1-methylcyclopropene or gibberellic acid[J]. J Food Sci Technol, 2014, 51(5): 943-949.
- [27] 季作梁,张昭其,王燕,等. 芒果低温贮藏及其冷害的研究[J]. 园艺学报, 1994, 21(2): 111-116.
- [28] 高俊凤. 植物生物学实验技术[M]. 西安:世界图书出版公司, 2000: 160-162.
- [29] 黄雪梅,张昭其,季作梁. 青香蕉和黄熟香蕉感病过程中 5 种酶活性的变化[J]. 果树学报, 2005, 22(6): 662-666.
- [30] 单耀忠. 果蔬的低温贮藏和包装的作用[C]//国外水果贮藏保鲜包装加工译文集. 北京:商业部供销科技情报所, 1981: 269-275.
- [31] 张继澍. 植物生理学[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 381-383.
- [32] 高敏. 草莓(*Fragaria ananassa*)和桃(*Prunus persica*)采后衰老过程中乙烯与活性氧的变化及其与钙信使关系的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2002.
- [33] 薛梦林. 氧分压和赤霉素处理对枣果采后生理生化的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2003.
- [34] 李梅,王贵禧,梁丽松,等. 1-甲基环丙烯对西洋梨常温贮藏的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 345-350.
- [35] 李莉,田士林. 1-MCP 对苹果梨采后生理效应和品质的影响[J]. 福建林业科技, 2006, 33(4): 156-158

【责任编辑 李晓卉】